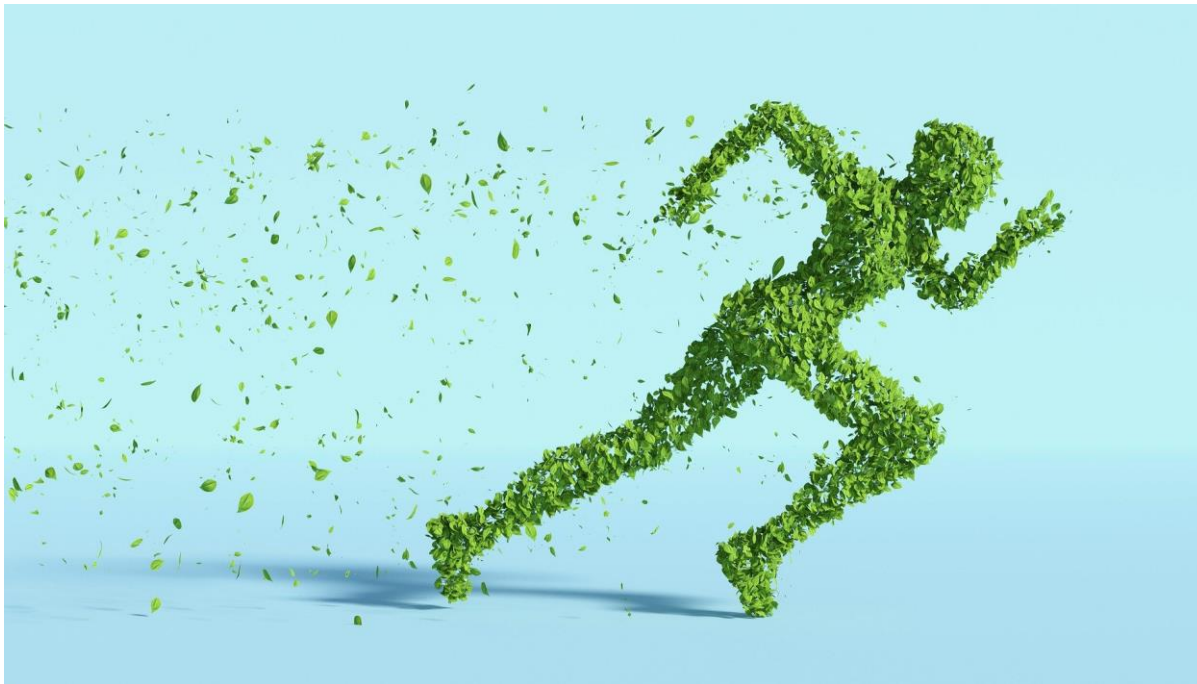

ENERGIEWENDE IM HÜRDENSPRINT DIE ROLLE DER TRANSPORTNETZE

Wissenschafts-Dialog,
Das Netz der Zukunft — auf dem Weg in die Klimaneutralität 2022



Dr. Frank Sensfuß,
Fraunhofer ISI

22. SEPTEMBER 2022

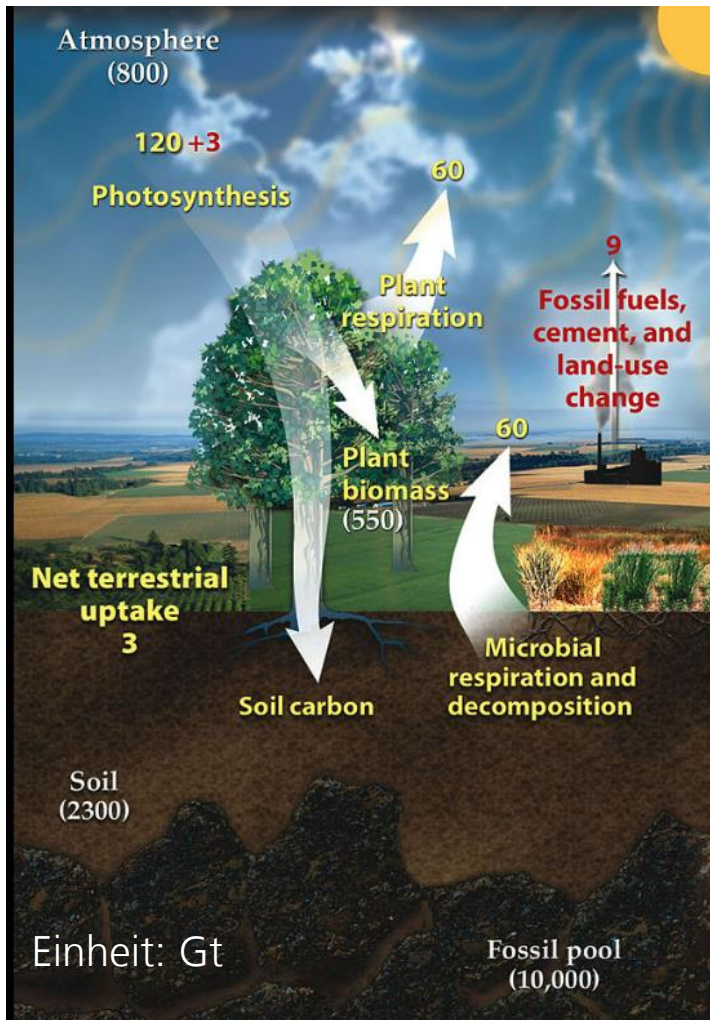
Agenda



- **Ausgangslage**
- Langfristszenarien in Bewegung
- Stromsystem
- Transportbedarf in den Szenarien
- Weniger Übertragungsnetze ?
- Abschließende Überlegungen

Die Ausgangslage I/II

Das Kohlenstoff Dilemma der Menschheit



Ausgangslage:

Die Menschheit verändert das Klima durch starken Anstieg des Kohlenstoffgehalts in der Atmosphäre

Erkenntnis:

Die Fußabdruck der Menschheit im Kohlenstoffkreislauf ist zu hoch

Zielsetzung:

Zur Stabilisierung des Klimas müssen die Nettotreibhausgasemissionen in die Atmosphäre auf der Welt **so schnell wie möglich** auf **0** sinken

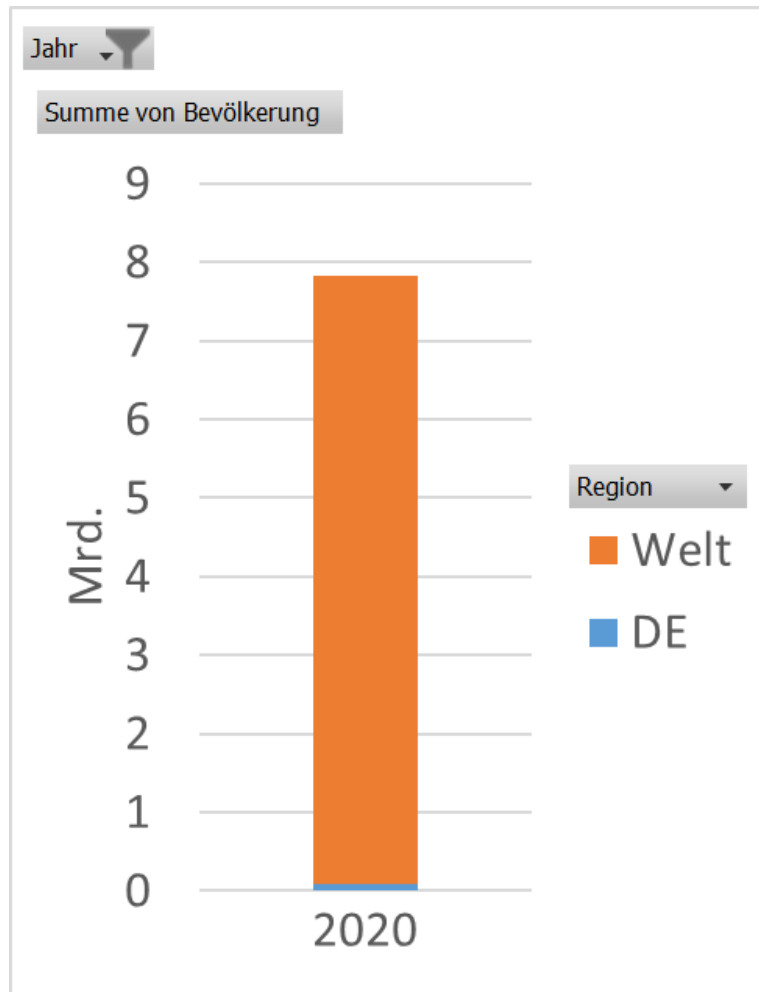
Treibhausgasemissionen Deutschland:

- 2018 866 Mt CO₂ Äq. (0,26 Gt C)



Die Ausgangslage I/II

Vom Kohlenstoff zum Flächenengpass für Deutschland



Ausgangslage:

- Aktueller Anteil Deutschlands an der Weltbevölkerung ca. **1%**
- Notwendige Waldfläche zur Kompensation der Deutschen CO₂ Emissionen 2018 ca. **10%** der weltweiten Waldfläche
- Für unsere Ernährung werden im Ausland ca. 11.7 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Fläche belegt (Uba 2016)
- Für die Erzeugung biogener Brennstoffe werden Ausland weitere Flächen belegt

Erkenntnis:

- Der deutsche Flächenfußabdruck „lebenswichtigen“ Flächen (Landwirtschaft & Wald) ist zu hoch.

Operationalisierung des Klimaziels:

- Der Flächenabdruck Deutschlands auf „lebenswichtigen“ Flächen muss schnell sehr deutlich reduziert werden

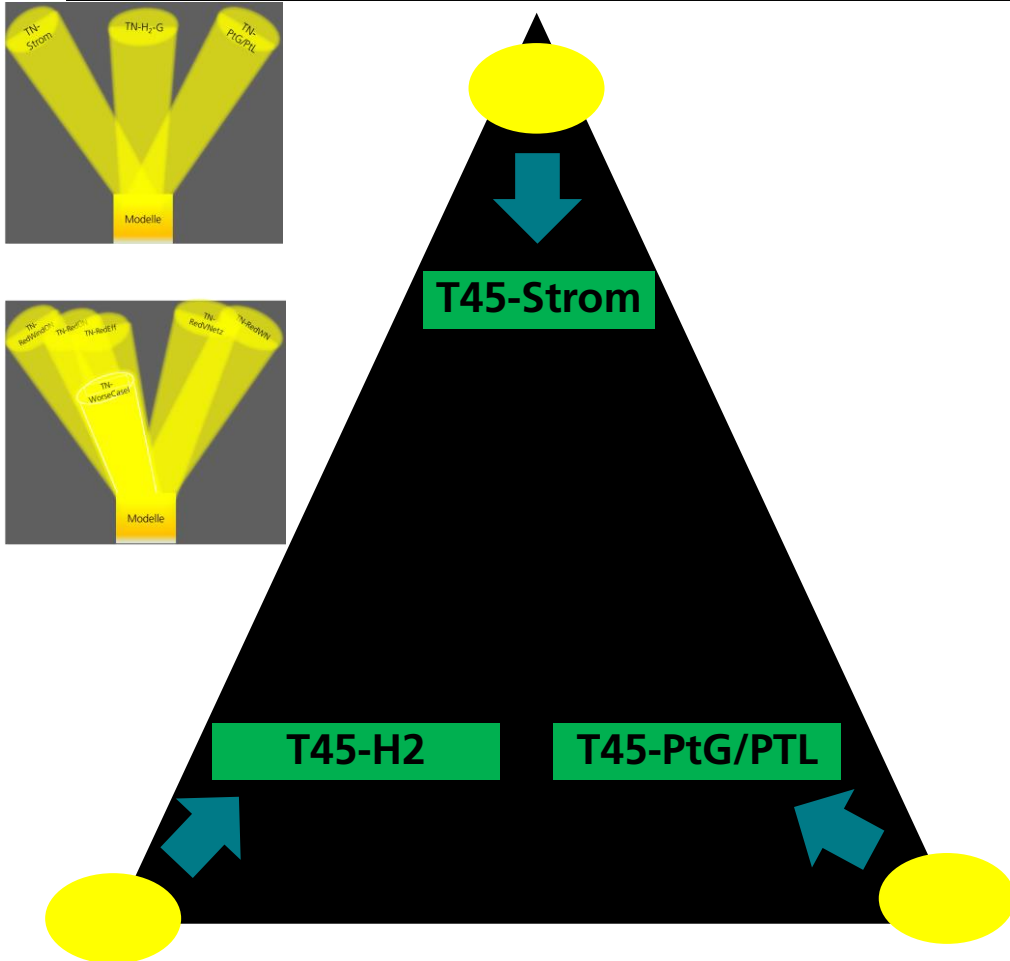
Agenda

The image shows a blackboard with several mathematical formulas. The most prominent one is a binomial expansion of $(a+b)^n$ using binomial coefficients $\binom{n}{k}$. Other formulas include a summation of $\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^k b^{n-k}$ and a series $K = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^5}$. There are also some less legible formulas involving factorials and binomial coefficients.

- Ausgangslage
- **Langfristszenarien in Bewegung**
- Stromsystem
- Transportbedarf in den Szenarien
- Abschließende Überlegungen

Methodik & Szenariodesign

Erkenntnisgewinn durch Vergleich und Lernen



■ Zentrale Fragestellung:

- Welche Techno-ökonomischen Wirkungen haben bestimmte Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems ?

• Vorgehensweise:

- Vergleich der Dekarbonisierung des Energiesystems durch
 - Sehr starken Stromeinsatz (*Szenario T45-Strom*)
 - Sehr starken Einsatz von Wasserstoff (*Szenario T45-H₂*)
 - Sehr starken Einsatz von synthetischen Kohlenwasserstoffen (*Szenario T45-PtG/PtL*)
- Modellierung des Transformationspfades bis 2045 mit detaillierten bottom-up Modellen

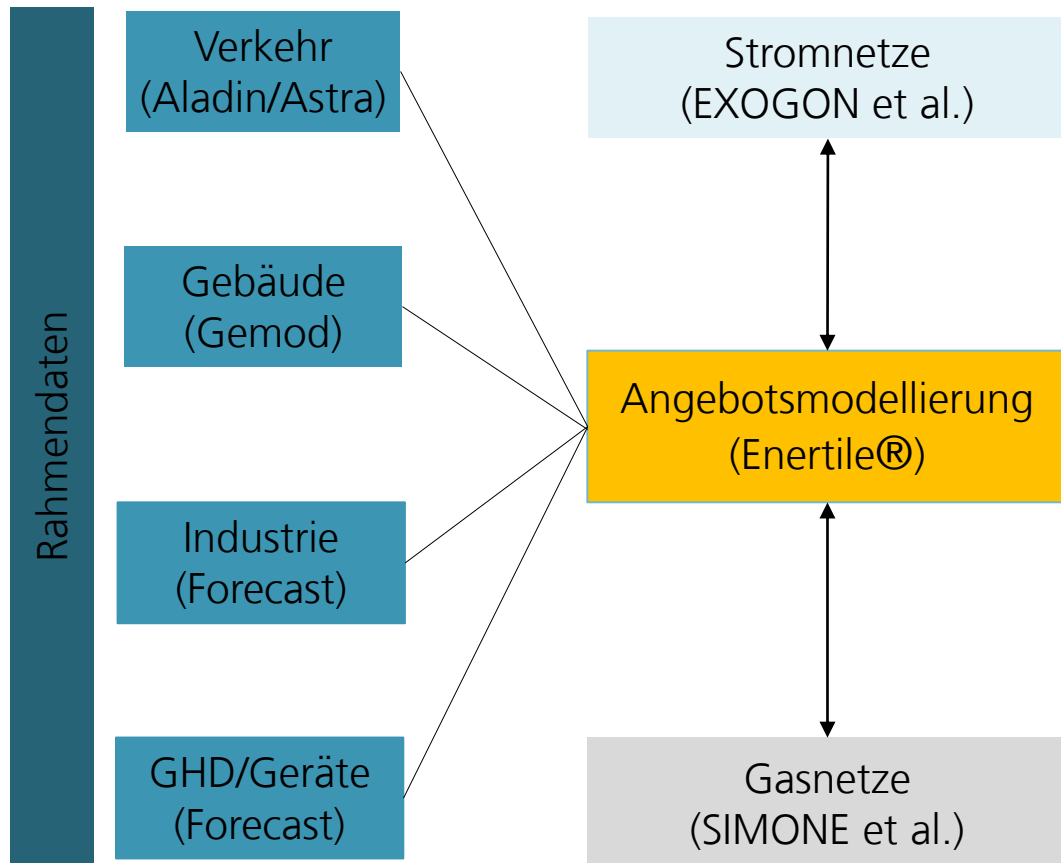
■ Mission der Langfristszenarien:

- Methodisch und inhaltlich lernender Prozess um den Lösungsraum für ein Treibhausgasneutrales Energiesystem immer besser „auszuleuchten“

Veröffentlichung wird auch unter www.langfristszenarien.de angekündigt
Aktuell sind nur Überlegungen auf Basis der TN-Szenarien möglich

Modellsystem

Gekoppelte Modelle erlauben hoch aufgelöste Analysen



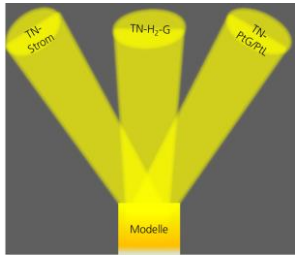
■ Vorgehensweise

- Detaillierte Modelle berechnen Energienachfrage
- Energienachfrage wird **regionalisiert**
- Potentiale Erneuerbarer Energien werden in hoher räumlicher und **zeitlicher** (stundenscharf) Auflösung berechnet
- Bereitstellung der Energie wird optimiert und mit Netzmodellen iteriert
- Auslegung der **Netze** wird berechnet

■ Einordnung

- Sehr hohe Auflösung des Energiesystems
 - Beispiel Enertile (Optimierung Angebot)
 - > 130 Millionen Erzeugungsvariablen
 - Größe des Gleichungssystems > 4,4 Mio. Schreibmaschinenseiten
- Modellkette sehr rechenintensiv und aufwändig

Überlegungen zu Auswirkungen aktueller Ereignisse auf die „langfristige“ Energiewende



Veröffentlichung TN-Szenarien



Gasbrücke der Energiewende



- Bundesregierung definiert ambitionierte Ziele
 - für Treibgasreduktion gesamt
 - für einzelne Sektoren
 - EE Ausbau



Fenster für blauen Wasserstoff schließt sich vermutlich

Umwidmung von CH₄ Infrastrukturen kurzfristig schwieriger

Energie kurzfristig ein weltweit sehr teures Gut
-> Effizienter Umgang notwendig

Diversifizierung und Risikomanagement wird wichtiger

Geld wird knapper

Lösungsraum erhält deutliche Leitplanken:
-> Mehr Sicherheit für Infrastruktur

Zeit ist knapp: Lösungen müssen zügig verfügbar sein

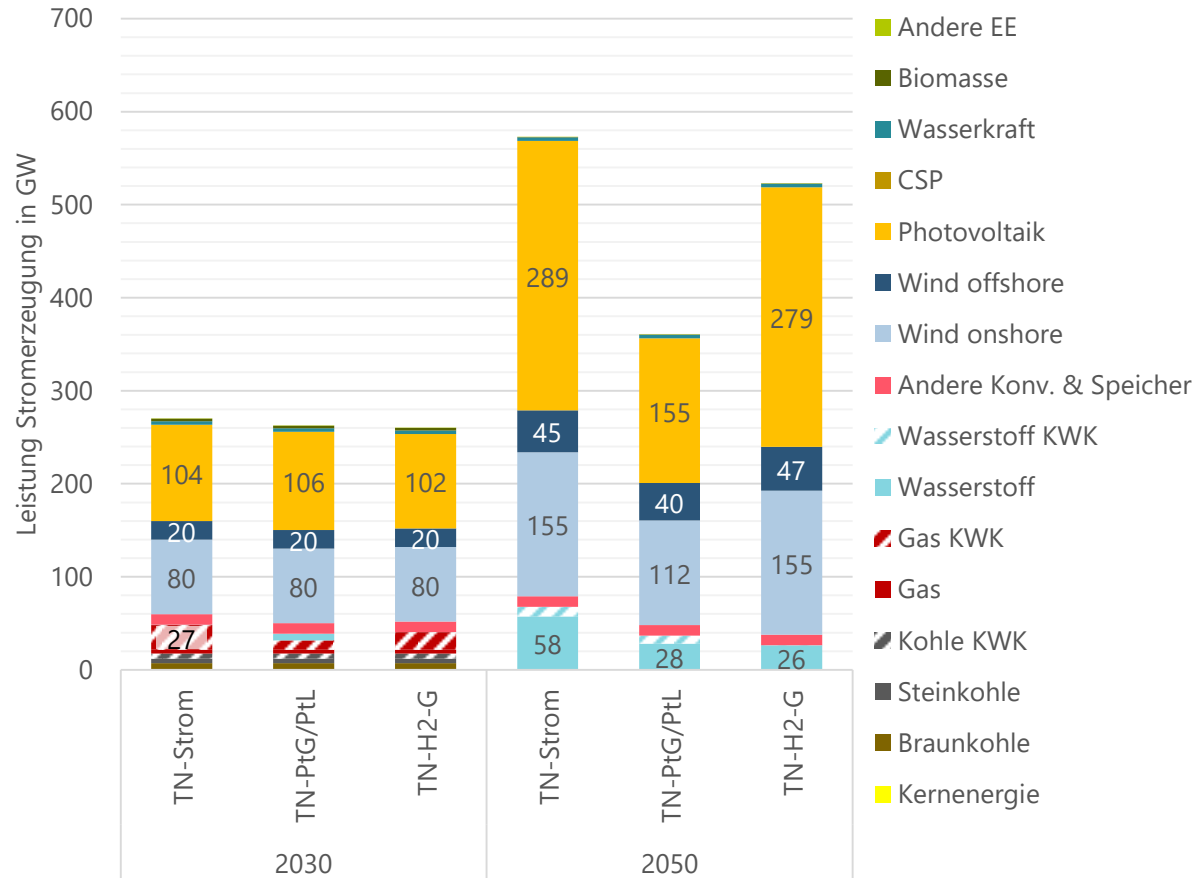
Agenda



- Ausgangslage
- Langfristszenarien in Bewegung
- **Stromsystem**
- Transportbedarf in den Szenarien
- Abschließende Überlegungen

Stromsystem – Deutschland – Installierte Leistung

Wind- und Solarenergie als Grundlage der Stromversorgung



Alte TN-Szenarien

Ergebnisse TN-Szenarien (ALT)

- Hohe Stromerzeugung aus Wind und Solarenergie in Deutschland
- Wasserstoffkraftwerke mit substantieller Back-up Leistung

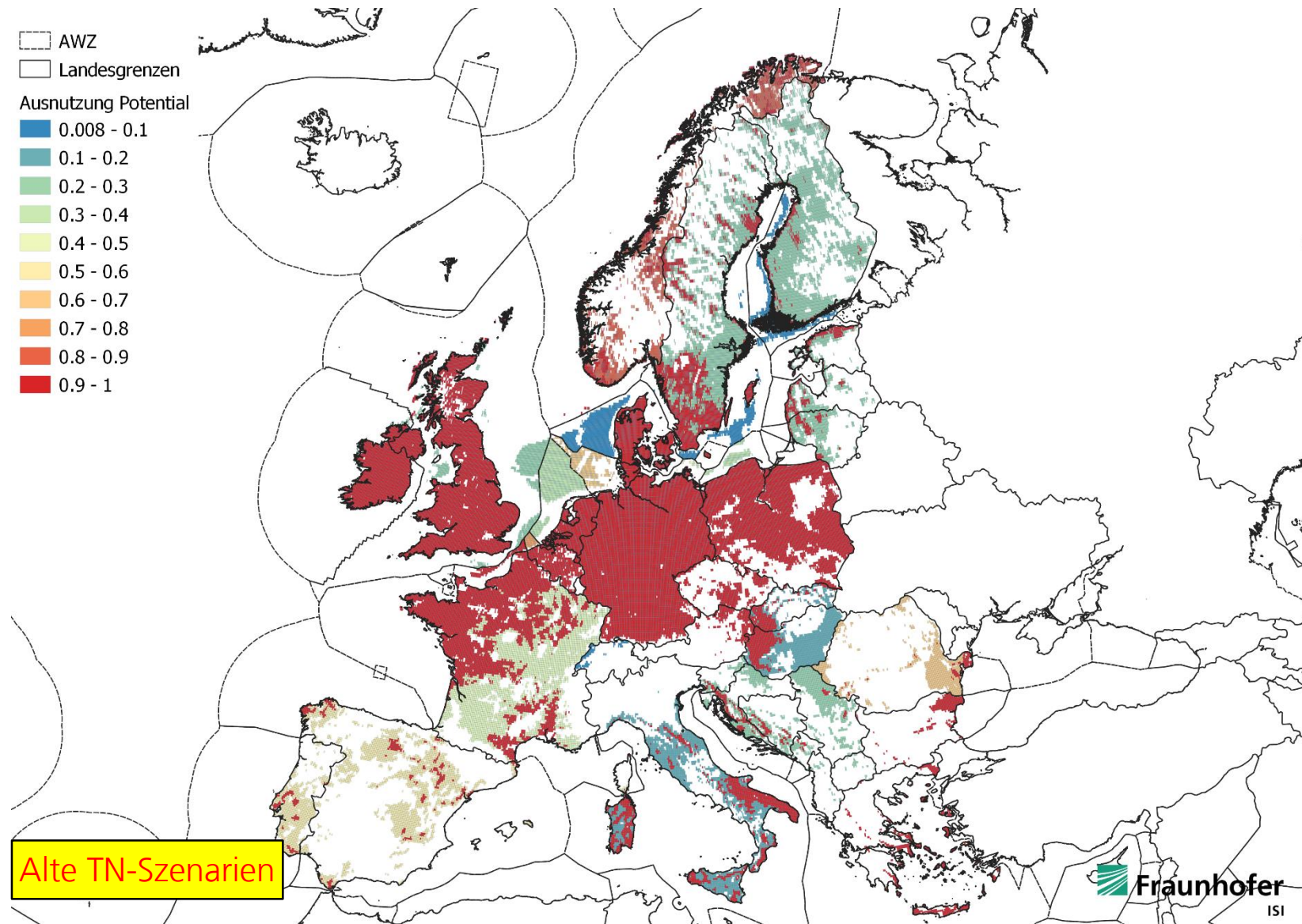
Neue Ziele 2040:

- PV 400 GW
- Windenergie an Land 160 GW
- Windenergie auf See 70 GW
- Schätzung Stromerzeugung ca. 1000 TWh
- Mehr als 50% in Norddeutschland/auf See

Einordnung:

- Deutlicher höherer Ausbau der Wind & Solarenergie
- Deutlich mehr Stromerzeugung im Norden

Potentialausnutzung Wind 2050 Szenario *TN-Strom*

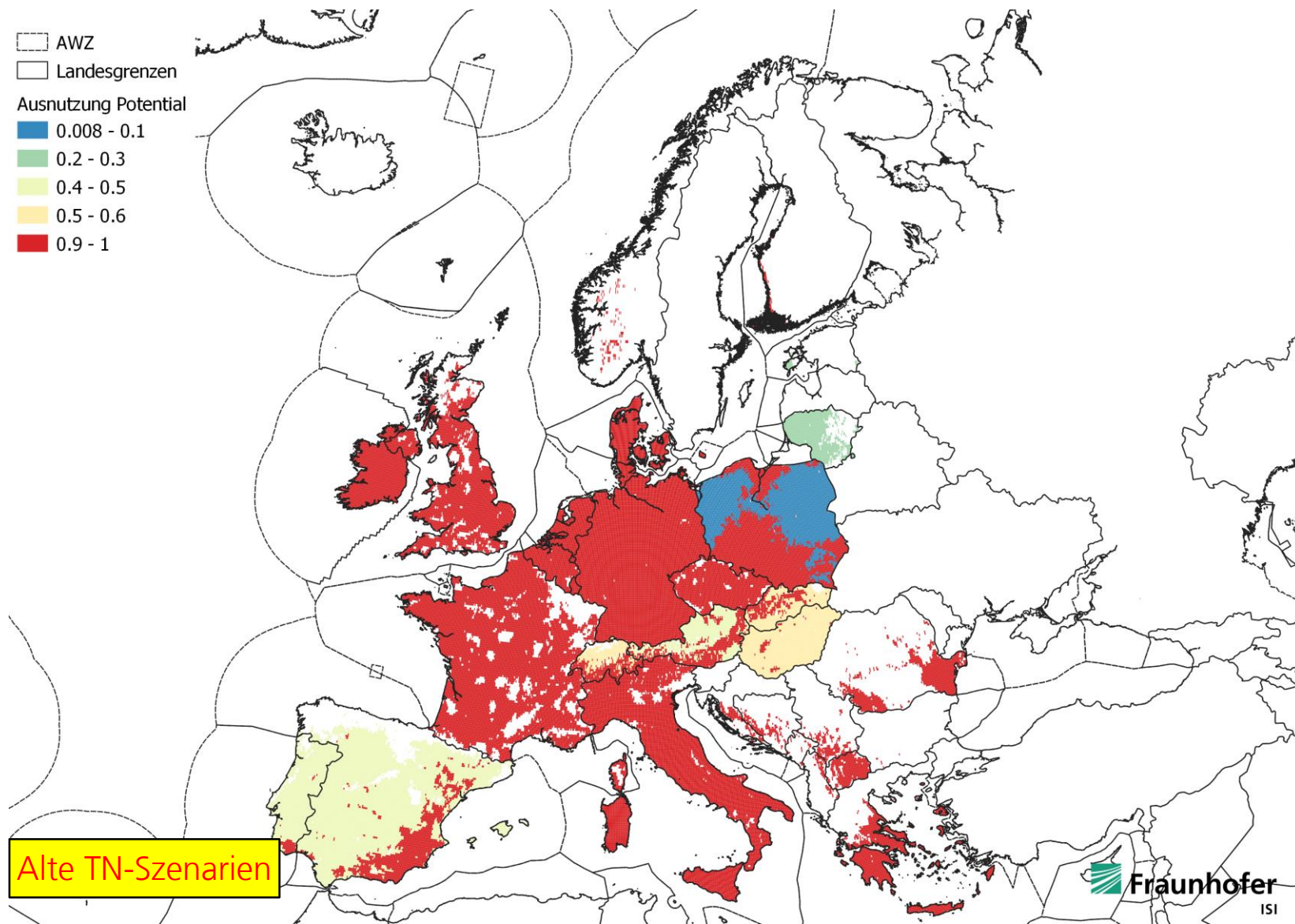


Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Mitteleuropa
- Ausbau in Süddeutschland ggf. durch Restriktionen getrieben

ID 39847

Potentialausnutzung PV Freifläche 2050 Szenario *TN-Strom*



Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Mitteleuropa und Italien
- Ungenutztes Potential in Nordpolen

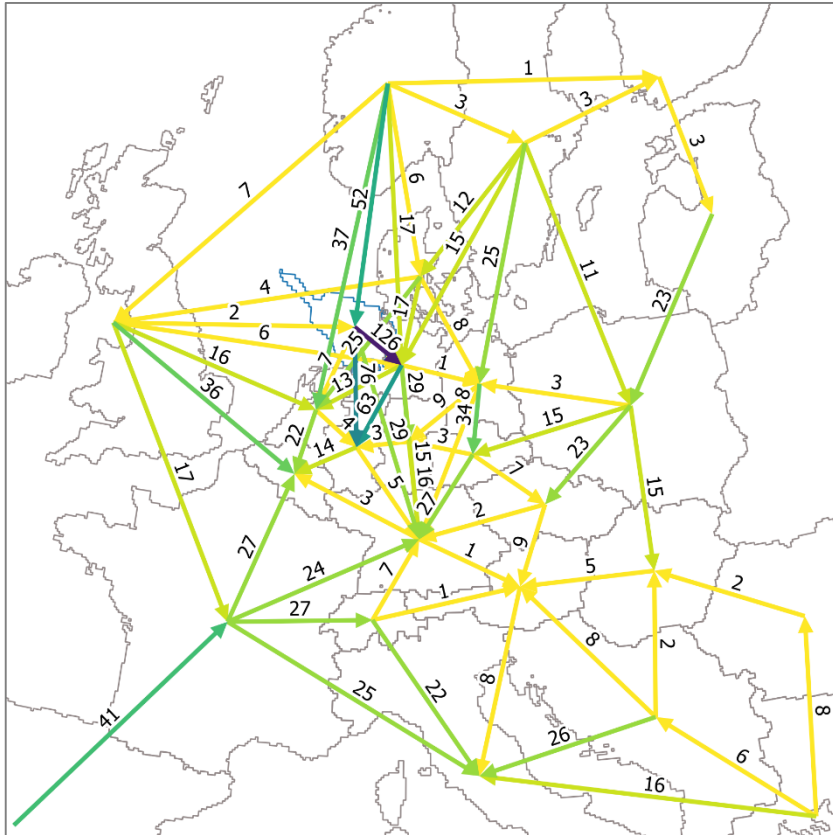
Agenda



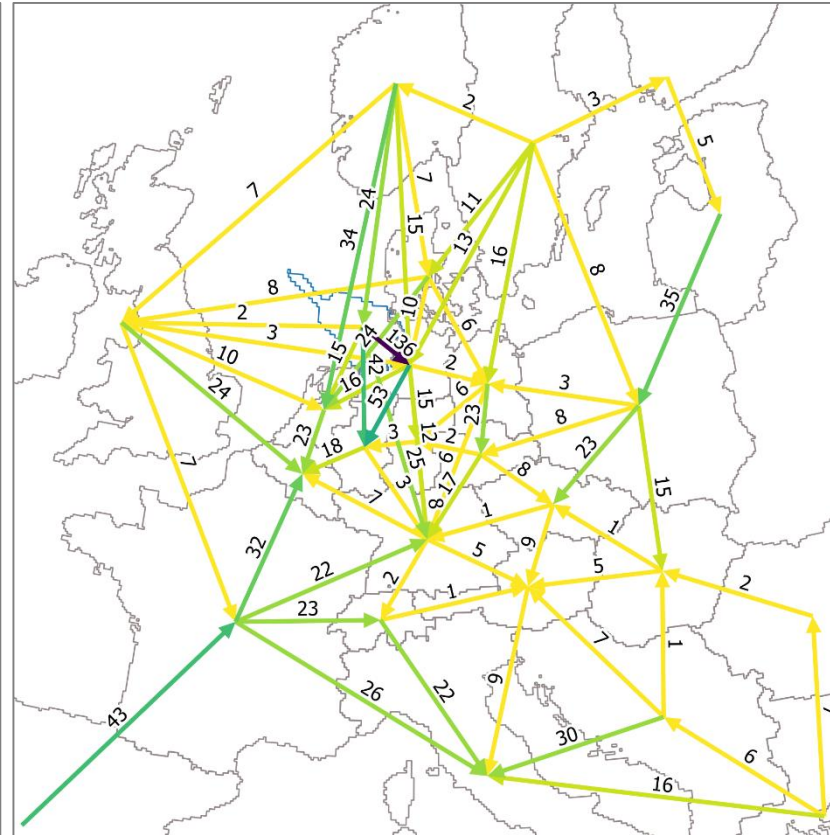
- Ausgangslage
- Langfristszenarien in Bewegung
- Stromsystem
- **Transportbedarf in den Szenarien**
- Weniger Übertragungsnetze ?
- Abschließende Überlegungen

Handelsflüsse Strom 2050 - Vergleich

TN-Strom



TN-H2-G



Ergebnisse TN-Szenarien (ALT)

- Transportachsen Nord->Süd
 - Europa
 - Deutschland
- Iberische Halbinsel nach Zentraleuropa
- Großbritannien nach Zentraleuropa

Einordnung:

- Die neuen Ausbauziele in Deutschland erhöhen den Transportbedarf nach Süden

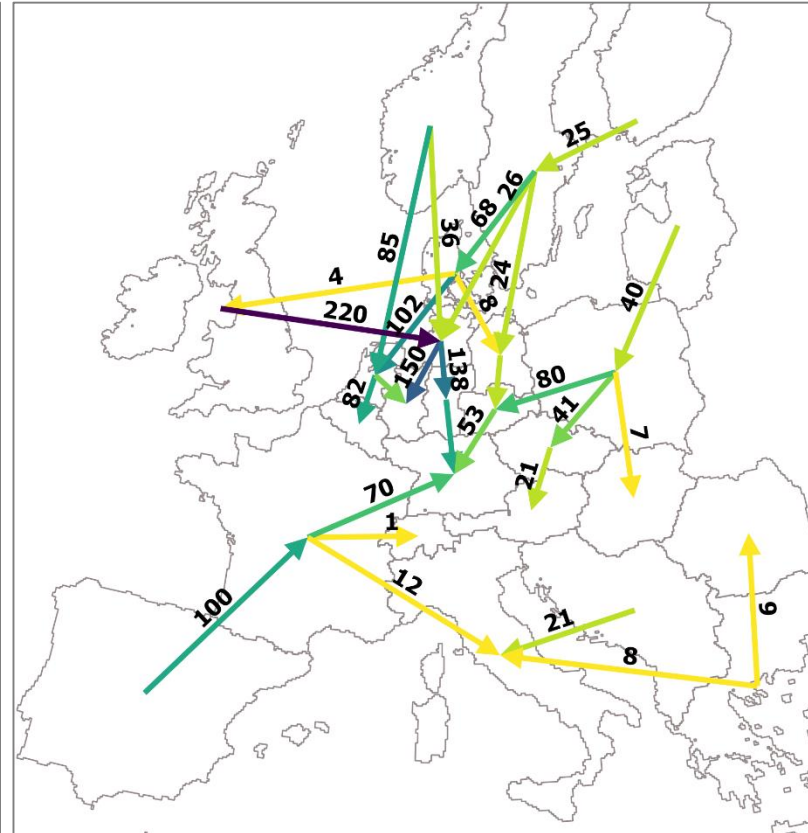
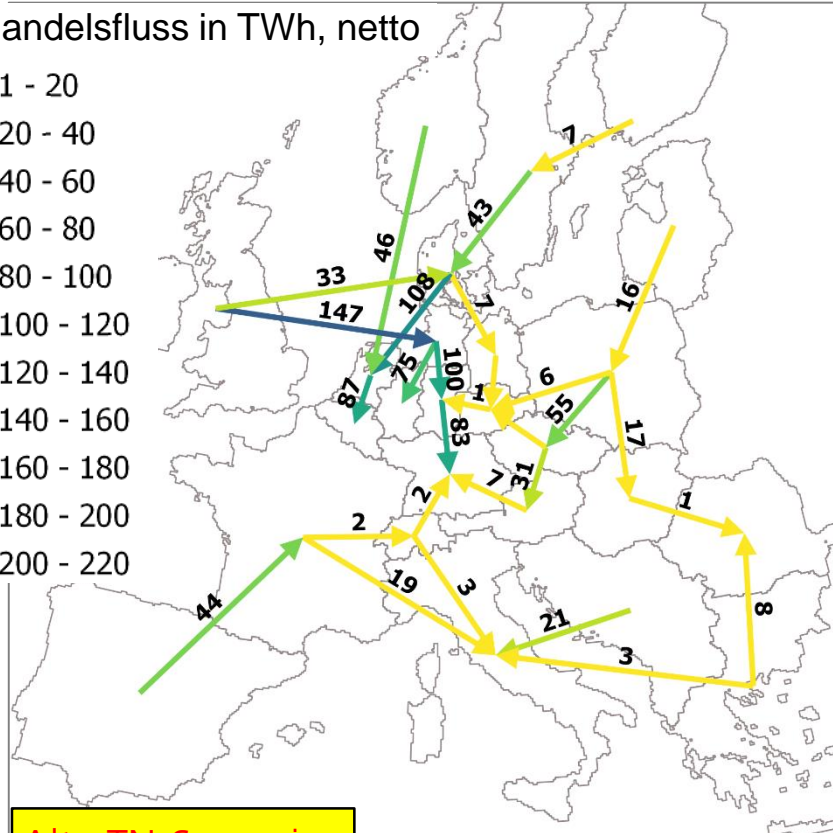
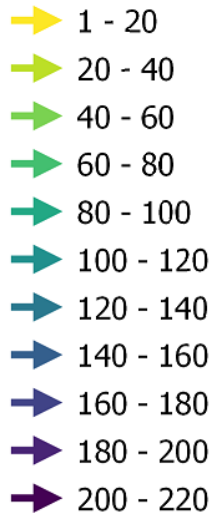
Alte TN-Szenarien

Wasserstoffhandel 2050 - Vergleich

TN-Strom

TN-H2-G

H₂-Handelsfluss in TWh, netto



Alte TN-Szenarien

Ergebnisse TN-Szenarien (ALT)

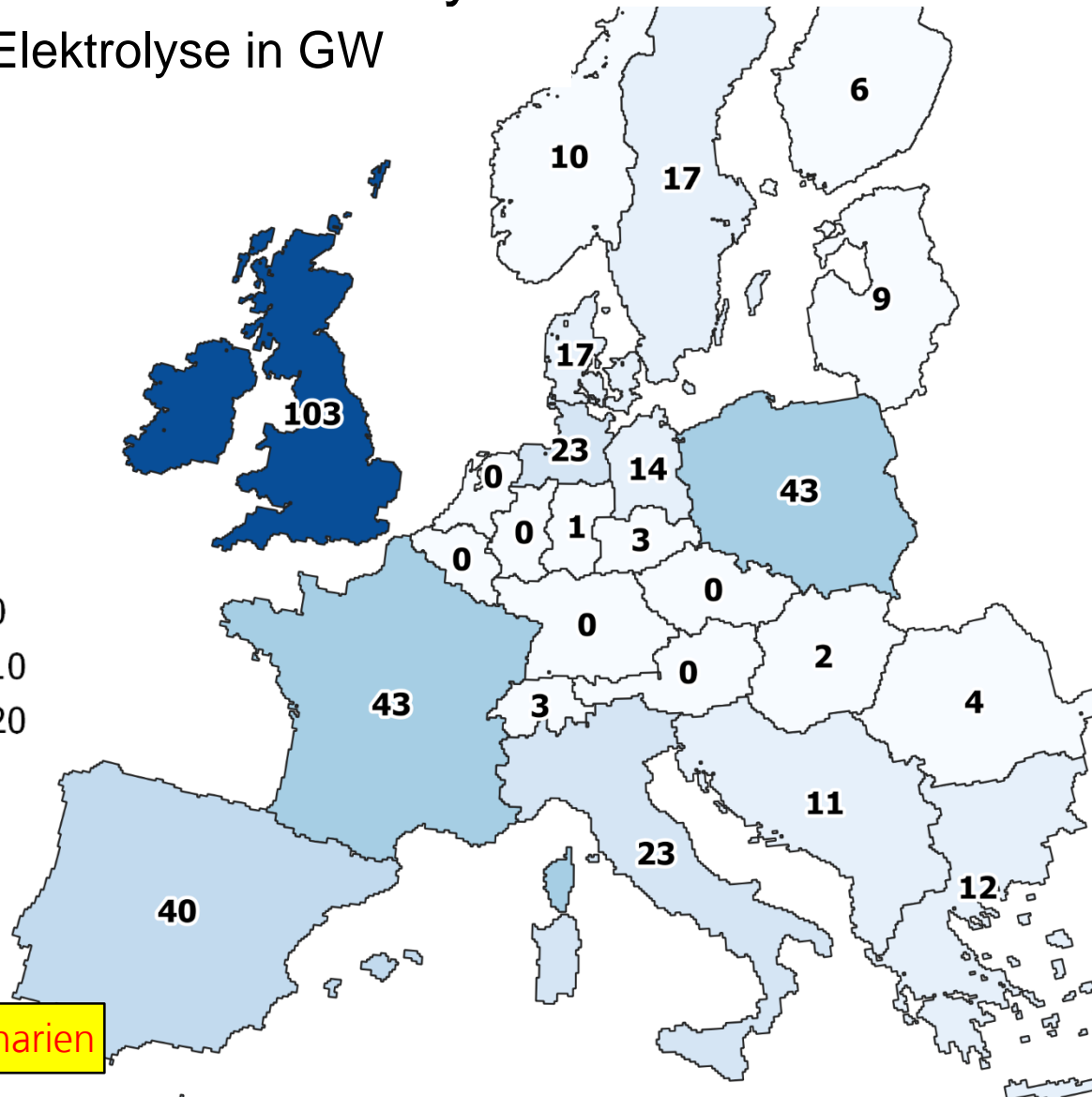
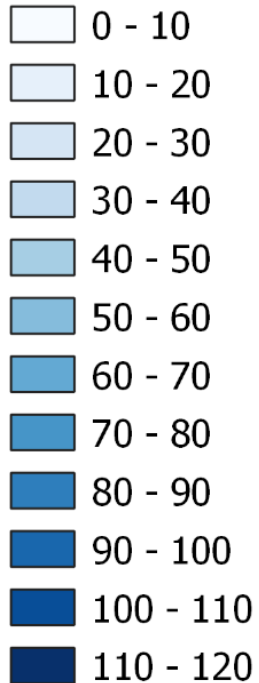
- Transportachsen Nord->Süd
 - Europa
 - Deutschland
- Iberische Halbinsel nach Zentraleuropa
- Großbritannien nach Zentraleuropa

Einordnung:

- Die neuen Ausbauziele in Deutschland erhöhen den Transportbedarf nach Süden

Kapazität Elektrolyseure 2050 Szenario *TN-Strom*

Leistung Elektrolyse in GW



Infos:

- Britische Inseln mit der größten Kapazität
- Polen, Frankreich, und Iberische Halbinsel bedeutend.
- Schwerpunkt innerhalb Deutschlands im Norden.

Alte TN-Szenarien

Agenda



- Ausgangslage
- Langfristszenarien in Bewegung
- Stromsystem
- Transportbedarf in den Szenarien
- **Weniger Übertragungsnetze ?**
- Abschließende Überlegungen

Gibt es Faktoren die den Stromtransportbedarf reduzieren können ?

■ Wasserstoff als Alternative für Stromnutzung

H₂-Transport plus Rückverstromung statt Stromnutzung

- Teuer
- EE-Flächenbedarf steigt um ca. Faktor 3

H₂-Heizung statt Wärmepumpen

- Teuer
- Diffusionsdilemma
- EE-Flächenbedarf steigt um mind. Faktor 3
- Sektorziel 2030 sehr schwierig erreichbar

■ Methan als Alternative für Stromnutzung

CH₄-Transport plus Rückverstromung statt Stromnutzung

- Biomasse
- Sehr teuer
 - begrenzt (siehe Originalziel Klimaschutz und „wertvolle Flächen“)

CH₄-Heizung statt Wärmepumpen

- PtG
- Sehr teuer
 - Flächenbedarf ca. Faktor 4-5 höher
 - Kurzfristige Verfügbarkeit problematisch

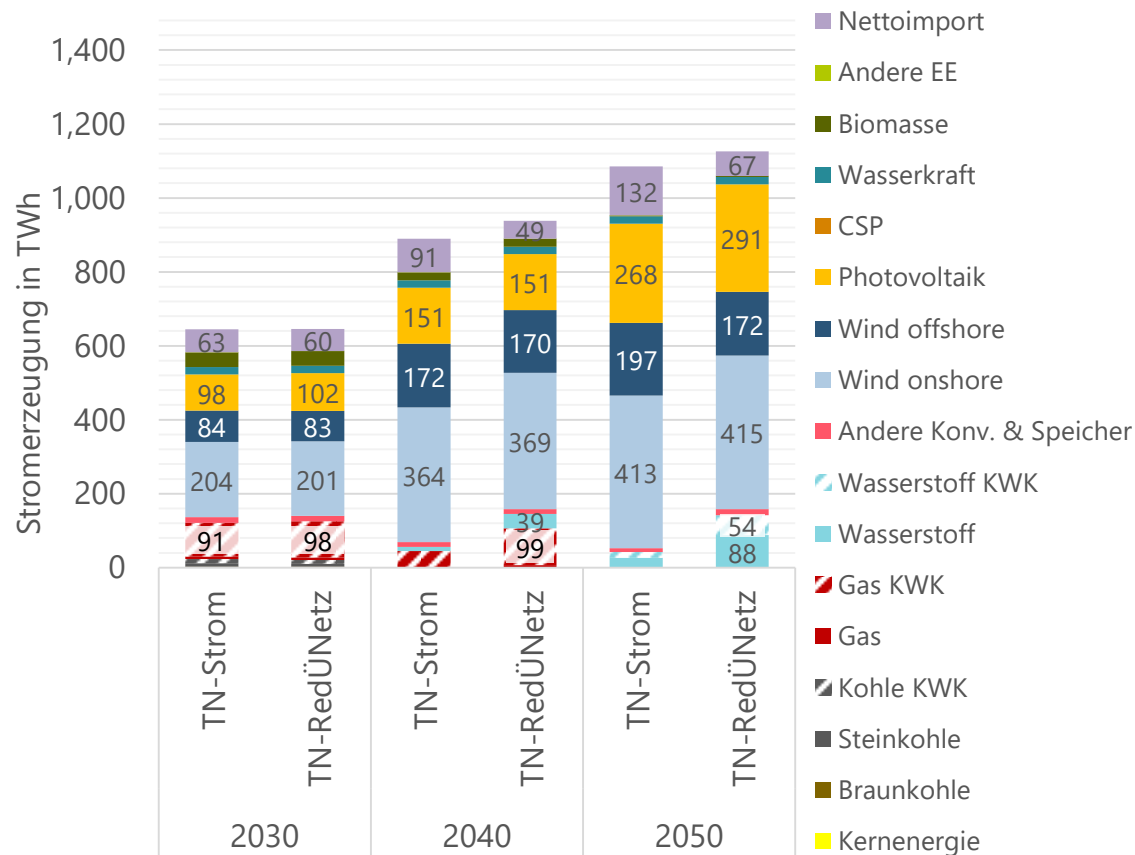
■ Effizienz

■ Verlegung von Industriestandorten



Beitrag möglich, ggf. begrenzt

Folie Enertile TN-RedÜN



Alte TN-Szenarien

Zentrale Annahmen

- Geplante Netzausbauprojekte werden mit Verzögerung umgesetzt und exogen in Enertile gesetzt.
- Kein modellendogener Übertragungsnetzausbau in Enertile.

Zentrale Ergebnisse

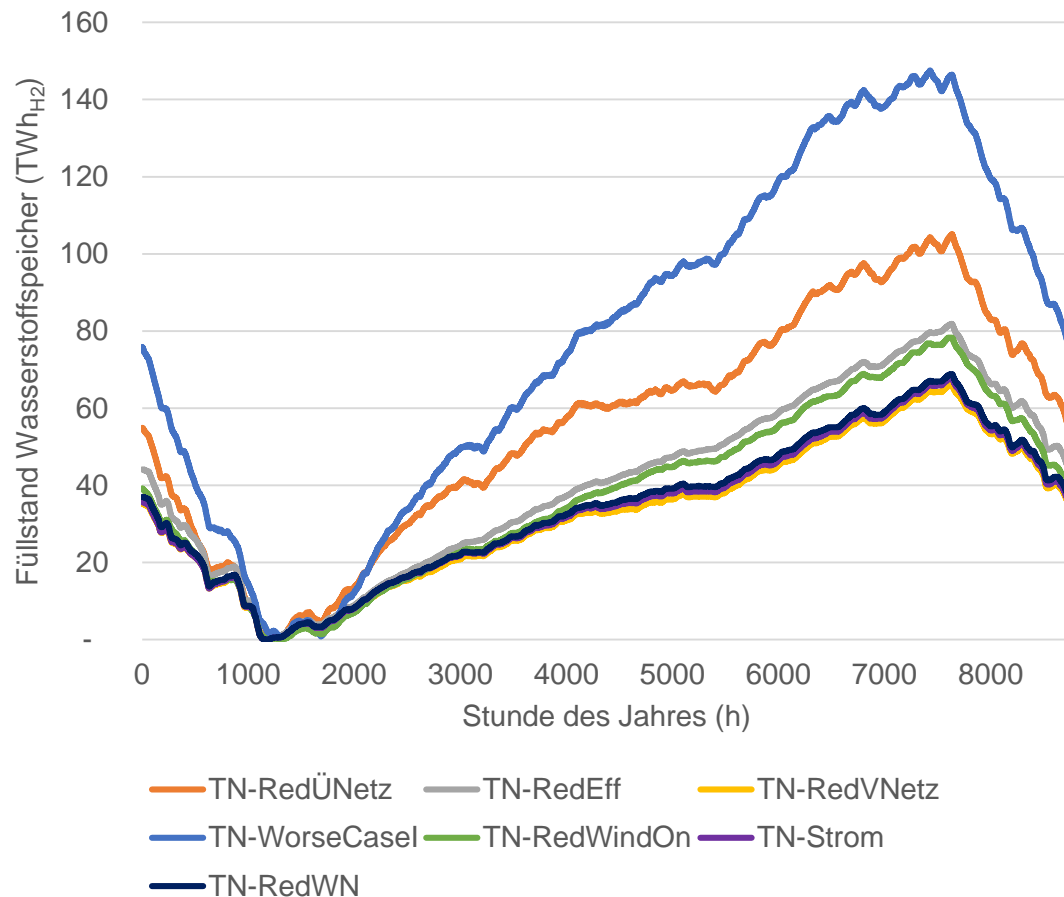
- Beschränkter Übertragungsnetzausbau führt zu reduziertem Nettostromimport ab 2040.
- Flexibilitätsbedarf steigt deutlich an. In 2050:
 - +5 GW Batteriespeicher
 - +20 GW Elektrolyse
 - +15 GW Wasserstoffkraftwerke
- Größere Rolle der Wasserstoff-KWK
- Energietransport wird teilweise von Strom auf Wasserstoff verlagert.
- Nationale EE Erzeugung steigt nicht.

Schlussfolgerungen

- Reduzierter Transportnetzausbau erhöht den Bedarf alternativer Flexibilitätsoptionen und steigert die Kosten im Energiesystem deutlich. Tendenz zum Energieimport bleibt bestehen.

Wasserstoff – Deutschland 2050

Wasserstoffspeicher

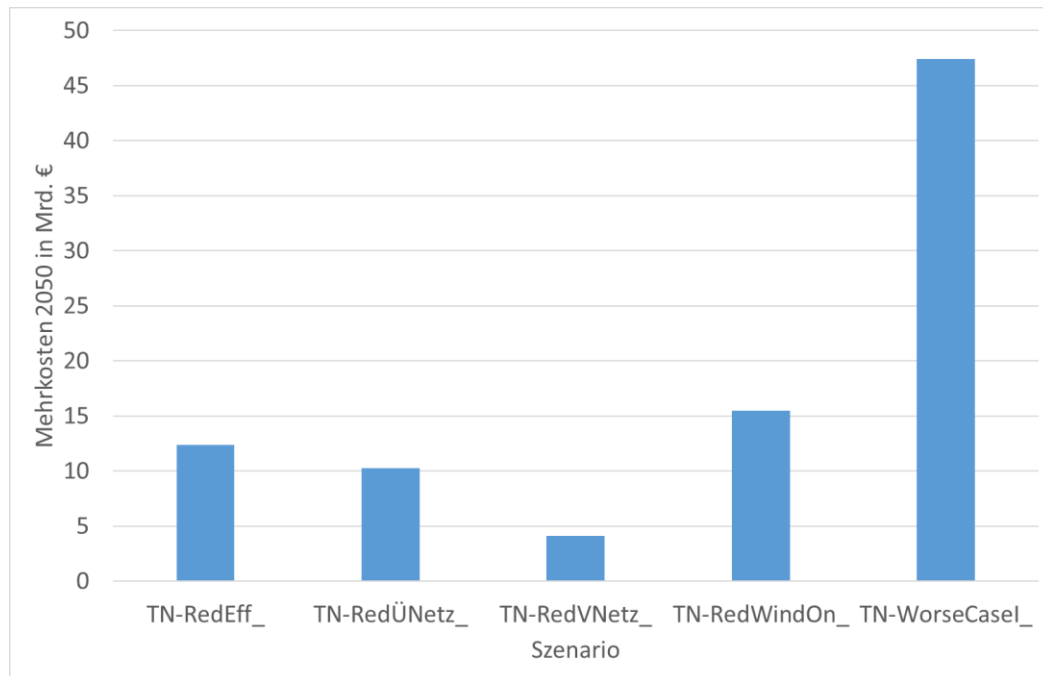


- Saisonales Speicherprofil mit Ausspeicherung im Winter und Einspeicherung im Frühling und Herbst.
- Speicherbedarf erhöht bei
 - weniger Wind an Land und weniger Effizienz (+)
 - weniger Übertragungsnetzausbau (++)
 - Kombination weniger Wind an Land, weniger Effizienz und weniger Übertragungsnetzausbau (+++)

Alte TN-Szenarien

Fazit & Gesamtkostenüberblick

Mehrkosten im Jahr 2050 im Vergleich zu TN-Strom



Alte TN-Szenarien

Zentrale Ergebnisse

- „Weniger Effizienz“ führt zu deutlichen Mehrkosten
- „Weniger Übertragungsnetz“ führt zu deutlichen Mehrkosten
- Europaweit „Weniger Wind an Land“ führt in Deutschland zu deutlichen Mehrkosten
- Die Kostenvergleich des Verteilnetzzenarios ist ebenfalls negativ
- Das Szenario TN-WorseCase_ ist vermutlich prohibitiv teuer (Mehrkosten >45 Mrd.€)

Hinweise

- Hier sind bisher nur die Bilanzräume Strom inkl. Netze, H2, Wärme und Gebäude erfasst (Kohlenwasserstoffe und weitere Nachfragesektoren fehlen noch)
 - Mehrkosten des TN-Red-Eff werden sich vermutlich etwas erhöhten Kosten
- Kostensteigerung durch neuen Offshoredatensatz von ca. 1.9 Mrd. enthalten.

Schlussfolgerung

- Die hier skizzierten Einschränkungen des TN-Strom sollten möglichst gering gehalten werden

Transportachsen für den Energieimport nach Deutschland



- **Folgende Regionen können Strom und Wasserstoff konkurrenzfähig zu Schiffsimporten von H2 bereitstellen**
 - Skandinavien
 - Britische Inseln
 - Frankreich
 - Iberische Halbinsel
 - Südosteuropa
- **Unsicherheiten bestehen**
 - Akzeptanz des lokalen Ausbaus Erneuerbarer Energien
 - Akzeptanz des Ausbaus der Transportachsen
- **Transportinfrastrukturen in Deutschland/Europa brauchen Flexibilität**
 - Strom
 - Wasserstoff

➡ Anforderungen an die Netze steigen

Agenda



- Ausgangslage
- Langfristszenarien in Bewegung
- Stromsystem
- Transportbedarf in den Szenarien
- Weniger Übertragungsnetze ?
- **Abschließende Überlegungen**

Abschließende Überlegungen

- Der Ausbau des Übertragungsnetzes ist zentral für die Energiewende
 - Aus den TN-Szenarien haben wir gelernt
 - Weniger Übertragungsnetze verteuern das Energiesystem deutlich
 - Erhöhen den Druck auf andere Infrastrukturen und Flächen
 - H₂ System & Speicher
 - Verteilungsnetze
 - Bedarf an Erneuerbaren Energien im Ausland
- Die Bedeutung der Übertragungsnetze ist aktuell noch höher einzuschätzen
 - Wir erwarten mehr Stromerzeugung in Norden
 - Der Lösungsraum der Energiewende ist kleiner geworden
 - Absicherung und Diversifizierung der Energieversorgung in Deutschland und **Europa** wichtiger geworden ist

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Besuchen Sie uns auf:

www.langfristszenarien.de